

Herczeg Gergely¹

Gyalogosok szűkítésen keresztüli áramlásának vizsgálata

Examining Pedestrian Flow through a Bottleneck

Az épületekben tartózkodó személyek biztonságát szolgálja a tűz megelőzés körében elvégzett kiürítési számítás, amellyel megállapítható, hogy az épület tűzeseti kiürítése az elvárt biztonsági szint mellett megvalósítható-e. A tűzvédelemben alkalmazott kiürítési számításához a személyek (gyalogosok) által igénybe vett szűkítések (például ajtók) átbocsátóképességének ismerete is szükséges. Magyarországon az elvárt biztonsági szintet jogszabály, a kiürítési számítás során alkalmazandó átbocsátóképességet tűzvédelmi műszaki irányelv tartalmazza. A szerző e cikkben bemutatja és elemzi a témakörrel kapcsolatos hazai és nemzetközi szakirodalmat. A szerző méréseket végzett a kutatás során, amelyek eredményéről e cikkben számol be. A kutatás célja az volt, hogy megállapítsa a gyalogosok szűkítésen keresztüli áramlásának átlagos mértékét, ezáltal az átbocsátást és a kiürítési számítás során alkalmazható átbocsátóképességre javaslatot tegyen. E kutatás lehetőséget ad a kiürítési számítás során alkalmazott átbocsátóképesség értékének módosítására vonatkozó javaslattételre, ezáltal az elvárt biztonsági szint teljesülése mellett a tűzvédelmi műszaki irányelv napjainkban jelen lévő viszonyokhoz való közelítésére.

Kulcsszavak: gyalogosáramlás, utasáramlás, kiürítés, kiürítési számítás, átbocsátóképesség

In the field of fire prevention, the evacuation calculations provide the safety of the people staying in the building. This calculation can determine whether the fire evacuation of the building is feasible following the required safety level. For the evacuation calculations in the field of fire safety, it is necessary to know the unit width flow rate through a bottleneck (for example doors) in the evacuation route, which is used by the individuals (pedestrians). A state regulation determines the required fire safety level in Hungary, and a Fire Protection Safety Guideline contains the applicable unit width flow rate in the field of the evacuation calculation. The author in this paper presents and analyses the Hungarian and international literature

¹ Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola, doktori hallgató, e-mail: herczeggergely@gmail.com

related to this topic. During the research, the author performed measurements, the results are published in this paper. The purpose of the research was to determine the pedestrians' unit width flow rate through a bottleneck, thereby proposing a value to use in the evacuation calculations. This research provides an opportunity to suggest the modification of the value of the unit width flow rate applied in the field of evacuation calculations, thus bringing the Fire Protection Safety Guideline closer to today's conditions, while meeting the required safety level.

Keywords: pedestrian flow, passenger flow, evacuation, evacuation calculation, unit width flow rate

1. Bevezetés

Az épületekben tartózkodó személyek biztonságát, életének védelmét szolgálja, ha tűz- vagy egyéb veszély esetén az épületből biztonságosan ki tudnak menekülni. A tűzeseti menekülés feltételeinek elvárt biztonsági szintjét, valamint a tűzvédelmi követelmények megvalósításának célját Magyarországon jogszabály, az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról szóló 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet állapítja meg.² A tűzvédelmi követelmények egyik célja az életvédelem. Az életvédelmi célokhoz tartozik az, hogy az épületben tartózkodó veszélyeztetett személyek menekülése, valamint a menekülés során az életfeltételek biztosítva legyenek.³ Követelmény, hogy menekülés esetén biztosítani kell az épületben tartózkodók részére azt, hogy meghatározott időn vagy – geometriai módszer alkalmazása esetén – távolságon belül biztonságba (például szabadba) jussanak.⁴ Az épület kialakítása lehetővé kell tegye, hogy a bent tartózkodó személyek elégséges átbocsátóképességű kijáraton elhagyhassák tartózkodási helyüket a kiürítés első szakaszában.⁵ A kiürítés tervezésének egyik megengedett módja a kiürítési számítás.⁶ Kiürítési számítással igazolható a kiürítésre előírt normaidők teljesülése.⁷ A kiürítési számítás leírását és szabályait tűzvédelmi műszaki irányelv tartalmazza.⁸ Ennek a számításnak része annak meghatározása, hogy a kiürítés során bejárt útvonalon lévő szűkítéseken (pl. ajtók) hány személy tud a megengedett idő alatt áthaladni. Az irányelvben meghatározott átbocsátóképességet lehet figyelembe venni a számítás során, amelynek értéke $41,7 \text{ fő}/(\text{min} \cdot \text{m})$.⁹

Átbocsátóképesség alatt értjük az egységnyi szabad szélességű szűkítésen egységnyi idő alatt áthaladni képes személyek maximális számát.¹⁰

² 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról.

³ 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet 5. §.

⁴ 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet 6. §.

⁵ 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet 51. §.

⁶ 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet 52. §.

⁷ 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet 63. §.

⁸ Belügyminisztérium Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság: *Tűzvédelmi Műszaki Irányelv – Kiürítés*. TvMI 2.3:2020.01.22.

⁹ TvMI 2.3:2020.01.22. 6.3.8.2.

¹⁰ TvMI 2.3:2020.01.22. 2.2.1.

A gyalogosáramlás alapegyenlete az alábbi:

$$q = v \cdot d,$$

ahol q az átbocsátóképesség [fő/(s·m)];
 v az áramlás sebessége [m/s];
 d a létszámsűrűség [fő/m²].¹¹

Ebben a cikkben azzal foglalkozik a szerző, hogy meghatározza az épületekből való menekülés során a bejárat útvonalon elhelyezkedő szűkítések (mint például ajtók) átbocsátóképességét. A meghatározott átbocsátóképesség alkalmazása kiterjeszthető más olyan gyalogosáramlási helyzetekre, amelyek során nem épületekből menekülnek személyek, hanem például járművekből vagy szabadból, akkor, ha az ottani viszonyok nem különböznek lényegesen az épületekben tapasztalható jellegzetességektől.

A menekülés során igénybe vett útvonalon elhelyezett szűkítések torlasztó hatásúak, így annak egyik oldalán, a szűkítés közelében nagyobb létszámsűrűség adódik, míg a másik oldalán a továbbhaladás nagyobb keresztmetszeten lehetséges, így a létszámsűrűség kisebb.

A szűkítések gyalogosáramlásra gyakorolt hatásával, így azok átbocsátóképességével is több kutatás foglalkozott. Az egyik legrégebbi fellelhető adat a szűkítések átbocsátóképességére egy 1938-ban kiadott szakkönyvben szerepel. Az Orosz Művészeti Akadémia Építészeti Kutatóintézete által, prof. Sz. V. Beljajev vezetésével végzett több mint 200 mérés alapozta meg a kiürítési számításhoz használt szabványosított adatokat és a számítás rendszerét.¹² Megfigyelésük szerint az elemi áramlás legalább 0,5 m széles. Célszerűnek látják a menekülési útvonal szélességét ezen érték többszörösében meghatározni, de legfeljebb 3 m-ben korlátozni (például lépcsőkarok esetében).¹³ Más forrást nem talált a szerző az elemi áramlás szélességére vonatkozóan. A később ismertetendő lineáris és másodfokú egyenletek ellentmondanak az elemi áramlási szélesség létezésének. Ebben az 1938-ban publikált kutatásban az átbocsátóképesség értékének meghatározását zsúfolt villamosból kiszálló utasok megfigyelésére alapozták, ahol 25–50 fő haladt át egy kijáraton egy perc alatt. Mivel az értékek jelentős szórást mutattak, javasolták a legkedvezőtlenebb 25 fő/min érték alkalmazását 0,6 m szélességű áramlásra.¹⁴ Ez kerekítve 41,7 fő/(min·m), amely érték alkalmazását Magyarországon 1968-ban vezették be, 30 évvel az adat publikálását követően, és mind a mai napig ez az irányelvben rögzített érték a kiürítési számításhoz.¹⁵

A szerző korábbi kutatásában megállapította, hogy a kiürítési számításhoz Magyarországon alkalmazott átbocsátóképesség által meghatározottnál nagyobb átbocsátás is lehetséges kijáratokon.¹⁶

¹¹ Peter Thompson et alii: Evacuation models are running out of time. *Fire Safety Journal*, 78. (2015), 252.

¹² Sz. V. Beljajev: *Evakuacija zdanyij masszovovo naznacsenyija*. Moszkva, Izdatyelsztvo Vseszozjuznoj Akagyemii Arhityekturi, 1938. 3.

¹³ Beljajev (1938): i. m. 6.

¹⁴ Beljajev (1938): i. m. 38.

¹⁵ TvMI 2.3:2020.01.22.

¹⁶ Herczeg Gergely – Bércsi László: Közösségi rendeltetésű épületek kiürítési gyakorlatainak tapasztalatai. *Védelem Tudomány*, 4. (2019), 2. 84–103.

Egy kísérlet szerint, amelyet pánikhelyzetben lévő egereken végeztek, nem egyenesen arányos a kijárat szélessége és átbocsátóképessége. Az egerek stresszre adott válaszreakciói hasonlítanak az emberi viselkedésre, így az egerek alkalmas helyettesítői az embereknek a pánikhelyzeti menekülés vizsgálatánál.¹⁷

Kínában végzett kísérletek szerint, ha a kijáratok összesített szélessége állandó, a kijáratok számának növelésével a kijáratok átbocsátóképessége csökken. Az áramlás erőssége és a kijárat szélessége között nemlineáris összefüggést találtak:

$$J = 1,287x^2 + 0,267x + 0,5538,$$

ahol J az áramlás erőssége [fő/s];
 x az ajtó szabad szélessége [m].¹⁸

Óvodás gyermekekkel végzett kísérletek során az áramlás erőssége és a szűkítés szélességének kapcsolatát lineárisnak írták le:

$$J = 5,11x - 0,95,$$

ahol J az áramlás erőssége [fő/s];
 x az ajtó szabad szélessége [m].¹⁹

Ezt az összefüggést a jellemzően kisebb testméretekkel rendelkező 3–5 éves gyermekekkel kapcsolatban állapították meg, így csak módosításokkal lehet felnőtt populációra vonatkoztatni.

Szintén lineáris kapcsolatot állapított meg egy másik kutatás 1100–2200 mm szélességű gyalogosáramlásoknál az áramlás szabad szélessége és az áramlás erőssége között:

$$J = 1,55x + 0,257,$$

ahol J az áramlás erőssége [fő/s];
 x az áramlási keresztmetszet szabad szélessége [m].²⁰

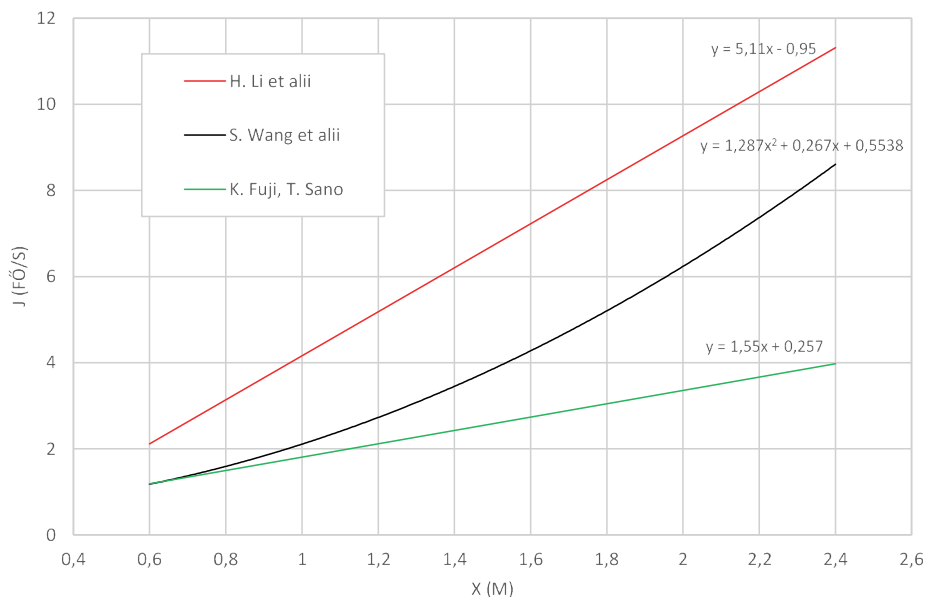
Az 10. ábra ábrázolja a három előbbi áramerősségekre vonatkozó egyenletet. Mind-egyik egyenletet egy-egy kijárat vizsgálata alapján állapították meg.

¹⁷ Teng Zhang et alii: Collective behavior of mice passing through an exit under panic. *Physica A*, 496. (2018), 233–242.

¹⁸ Shuai Wang et alii: Setting the width of emergency exit in pedestrian walking facilities. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, (2014), 138. 233–240.

¹⁹ Hongliu Li et alii: A comparative study on the bottleneck flow between preschool children and adults under different movement motivations. *Safety Science*, 121. (2020), 30–41.

²⁰ Kosuke Fujii – Tomonori Sano: Experimental study on crowd flow passing through ticket gates in railway stations. *Transportation Research Procedia*, 2. (2014), 630–635.



1. ábra

Az áramlás erőssége a szűkítés szélességének függvényében különböző források szerint

Forrás: a szerző szerkesztése

Chilei kísérletek alapján 1,45–3,24 fő/(s·m) (87–194,4 fő/[min·m]) átbocsátóképességet mértek kijáratú ajtókon, óvodás korosztálytól 12. osztályos korosztályú tanulók vegyes csoportján.²¹

Az Amerikai Egyesült Államokban alkalmazott tűzvédelmi irányelv, az NFPA 130 (2017) (*National Fire Protection Association, USA*) szerint vasútállomások kétszárnyú kijáratú ajtóinál 81,9 fő/(min·m) átbocsátóképesség vehető figyelembe a kiürítés tervezésekor.²²

Egy 80 fő részvételével végzett kísérlet eredményei szerint egy 0,72 m széles ajtó átbocsátóképessége 1,01–2,41 fő/s. A kísérletben részt vevő alanyok életkori megoszlása 20–55 év volt. Az egységnyi szélességre átszámított átbocsátóképesség az előbbi adatok alapján 84,17–200,83 fő/(min·m). Az értékek nagyobb szórását magyarázhatja, hogy a kísérleteket előzékeny, valamint az előzékenységre figyelmet nem fordító személyekkel is elvégezték.²³

Az ajtók átbocsátóképessége DiNenno szerint 1,3 fő/(s·m) (azaz 78 fő/[min·m]).²⁴

²¹ Alan Poulos et alii: Validation of an agent-based building evacuation model with a school drill. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 97. (2018), 82–95.

²² NFPA 130: *Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems*. 5.3.7.1. 2017.

²³ Alexandre Nicolas – Sebastián Bouzat – Marcelo N. Kuperman: Pedestrian flows through a narrow doorway: Effect of individual behaviours on the global flow and microscopic dynamics. *Transportation Research Part B: Methodological*, 99. (2017), 30–43.

²⁴ Philip J. DiNenno et alii: *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Quincy, National Fire Protection Association, 2012. 3–371 (905).

Kretz és munkatársai megállapították egy 0,7 m széles, 0,4 m hosszú szűkítésen áthaladó személyekkel végzett kísérlettel, hogy a szűkítés átbocsátóképessége 1,74 fő/(s·m) (azaz 104,4 fő/[min·m]).²⁵

A szűkítések átbocsátóképességét 1,61 fő/(s·m) (azaz 96,6 fő/[min·m]) értékben állapították meg Seyfried és munkatársai egy 80 cm széles, 2,8 m hosszú szűkítésen áthaladó személyekkel végzett kísérlet alapján.²⁶

Pastor és munkatársai egy 69 cm-es szűkítésen mért megfigyelései szerint, a szűkítések átbocsátóképessége 2,43–2,63 fő/(s·m) (azaz 145,8–157,8 fő/[min·m]).²⁷

Predtechenskii és Milinskii 1978-ban publikált kísérletei alapján a szűkítések átbocsátóképességére a 1,6 fő/(s·m) (azaz 96 fő/[min·m]) értéket adta meg.²⁸

Egy melbourne-i egyetemen (University of Melbourne) 114 fő részvételével végeztek kísérletet 60–120 cm-es szűkítéseken. A mért értékek a szűkítések átbocsátóképességére: 1,67–3,93 fő/(s·m) (azaz 100,2–235,8 fő/[min·m]).²⁹

Széksorok közötti 0,4–0,6 m széles közlekedőn történő haladást vizsgálták Huang és munkatársai. Megállapították, hogy a szűk közlekedő átbocsátóképessége 2,5–4,29 fő/(s·m) (azaz 150–257,4 fő/[min·m]).³⁰

Nemzetközi kitekintésben az előírások és a kiürítés számítógépes modellezésére szolgáló szoftverek is egységes és univerzális értéket tartalmaznak a szűkítések átbocsátóképességére (jellemzően 80 fő/[min·m]).³¹

A Magyarországon érvényes érték is egységes a szűkítések átbocsátóképességére vonatkozóan.

A populáció életkori megoszlása az értékek megállapításától eltelt időben megváltozott, nőtt a túlsúlyos személyek és a mozgássérültek aránya. Ezért javasolt a nemzetközileg általános 1,33 fő/(s·m) átbocsátóképesség-érték csökkentése, egy kutatás szerint 36%-kal 0,85 fő/(s·m) értékre.³²

A helyiség kijárata előtt a helyiségen belül elhelyezett megfelelő átmérőjű és lokációjú oszloppal növelhető a kijárat átbocsátóképessége, különösen akkor, ha a kijáratot a helyiség egyik sarkában helyezték el. Oszlop nélküli kialakításnál, ha az ajtó a helyiség oldalfalán és nem a sarkán volt elhelyezve, átlagosan 1,31 m/s sebességgel haladó személyek 1,2 m széles ajtón mérve az ajtó átbocsátóképessége 2,67 fő/(s·m) értékre adódott. A sarokban elhelyezett kijáratnál, megfelelő oszlop alkalmazásával az átbocsátóképesség 3,18 fő/(s·m) értékre növekedett.³³

²⁵ Tobias Kretz – Anna Grünebohm – Michael Schreckenberg: Experimental study of pedestrian flow through a bottleneck. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, (2006), 10. 10014.

²⁶ Armin Seyfried et alii: Empirical data for pedestrian flow through bottlenecks. In Cécile Appert-Rolland et alii (eds.): *Traffic and Granular Flow'07*. Berlin, Springer, 2009. 189–199.

²⁷ José M. Pastor et alii: Experimental proof of faster-is-slower in systems of frictional particles flowing through constrictions. *Physical Review E*, 92. (2015), 6. 062817.

²⁸ V. Predtechenskii – A. I. Milinskii: *Planning for foot traffic flow in buildings*. Washington DC, National Bureau of Standards, US Department of Commerce, and the National Science Foundation, 1978.

²⁹ Milad Haghani – Majid Sarvi: Simulating pedestrian flow through narrow exits. *Physics Letters A*, 383. (2019), 2–3. 110–120.

³⁰ Shenshi Huang et alii: Experimental study on occupant evacuation in narrow seat aisle. In *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Elsevier, 2018. 502, 506–517.

³¹ Thompson et alii (2015): i. m. 252.

³² Thompson et alii (2015): i. m.

³³ Xiaomeng Shi et alii: Examining effect of architectural adjustment on pedestrian crowd flow at bottleneck. *Physica A*, 522. (2019), 350–364.

Tömegközlekedési jármű ajtóinak átbocsátóképességét mérték kísérletek során, és megállapították, hogy 600–2000 mm közötti szélességű ajtókon az átbocsátóképesség 1,822–2,061 fő/(s·m).³⁴

Az egyik legmagasabb átbocsátóképesség, amelyet kísérletekkel alátámasztottak: 3,7 fő/(s·m).³⁵

Sportcsarnok kiürítésénél végzett megfigyelések alapján az ajtók átbocsátóképessége 0,92 fő/(s·m).³⁶

Az 1. táblázat foglalja össze a különböző források szerinti átbocsátóképesség-értékeket. A kísérletek körülményeinek részleteit (ahol rendelkezésre álltak) az előbbiekben ismertette a szerző.

1. táblázat
Az átbocsátóképesség értékei különböző források szerint
Forrás: a szerző szerkesztése

Adat forrása	Átbocsátóképesség (fő/[m·s])		
	minimuma	átlag	maximuma
Sz. V. Beljajev (1938)		0,695	
V. Predtechenskii – A. I. Milinskii (1978)		1,600	
T. Kretz et alii (2006)		1,740	
S. M. V. Gwynne et alii (2009)		0,920	
A. Seyfried et alii (2009)		1,610	
P. J. DiNenno et alii (2012)		1,300	
K. Fuji – T. Sano (2014)	1,680		1,840
R. Fernández – A. Valencia – S. Seriani (2015)	1,822		2,061
P. Thompson et alii (2015)		0,850	
J. M. Pastor et alii (2015)	2,430		2,630
A. Garcimartín et alii (2016)		3,700	
A. Nicolas – S. Bouzat – M. N. Kuperman (2017)	1,010		2,410
NFPA 130 (2017)		1,365	
S. Huang et alii (2018)	2,500		4,290
A. Poulos et alii (2018)	1,450		3,240
X. Shi et alii (2019)	2,670		3,180
M. Haghani – M. Sarvi (2019)	1,670		3,930
TvMI 2.3 (2020)		0,695	

Amikor kísérletekből kívánunk következtetéseket levonni személyek vészeseti menekülésére, figyelemmel kell lenni a következőkre. Rendkívüli esemény során az emberi

³⁴ Rodrigo Fernández – Alejandra Valencia – Sebastian Seriani: On passenger saturation flow in public transport doors. *Transportation Research Part A*, 78. (2015), 102–112.

³⁵ Angel Garcimartín et alii: Flow of pedestrians through narrow doors with different competitiveness. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, (2016), 4. 043402.

³⁶ S. M. V. Gwynne et alii: Questioning the linear relationship between doorway width and achievable flow rate. *Fire Safety Journal*, (2009), 44. 80–87.

viselkedésformák eltérnek a szokványostól.³⁷ Megjelenhet gyermekes viselkedés, kezdeti ijedtségreakció és testi-szellemi bénultság.³⁸

Valós veszélyben ritkán van lehetőség tervszerű megfigyeléseket és kísérleteket végezni, így a gyalogosáramlás vizsgálatára olyan helyszínt és módszert kell választani, amely a leginkább hasonlít a veszélyhelyzeti menekülésre.

2. Módszer

A szerző a szűkítések átbocsátóképességét metróállomásra érkező metrószerelvényből kiszálló utasok megfigyelésével állapította meg. A megfigyeléshez olyan helyszínt volt célszerű választani, ahol a gyalogosok viszonylag nagy számban haladnak át a szűkítésen, azaz a szűkítés gyalogosáramlást korlátozó hatása érvényesül: a szűkítés előtt feltorlódnak a gyalogosok, a szűkítés után szabad terület van, ahol akadály nélkül tovább haladhatnak. Ahhoz, hogy a megfigyelést és a mérést többször egymás után is el lehessen végezni, és az adatokat így elemezni, olyan helyszínt volt szükséges, ahol a gyalogosok szűkítésen keresztüli egyirányú áramlása rendszeresen ismétlődik. A gyalogosáramlás egyirányúsága azért jelentős, mert egyrészt a menekülés során is az egyirányú áramlás jellemző a szűkítéseken, másrészt a kétirányú áramlás során a főárammal szemben haladók szükségszerűen csökkentik a főáramlás keresztmetszetét. Az épületekből és járművekből történő meneküléshez hasonló feltételek így leginkább tömegközlekedési járművek végállomásain adóttak. Itt a jármű megérkezése után az ajtók nyitáskor az utasok kifelé áramlása a fő motívum, de célszerű olyan helyszínt választani, ahol sok a leszálló utas és alacsony az érkezési terület létszámsűrűsége az ajtónyitás előtti pillanatban, tehát kevés a felszállásra várakozó utas. Metróállomásokon a peronszint és a jármű padlószintje között minimális a magasságkülönbség, nincs lépcső, így választotta ki a szerző a vizsgálatához a metró mint tömegközlekedési eszközt. A többi tömegközlekedési eszközön mint autóbusz, trolibusz, HÉV, vasút, a jármű peronszintje és az állomási peronszint között jelentős lehet a magasságkülönbség, kivéve az alacsonypadlós járműveket, így nem hasonlítható össze az épületekből való meneküléssel az azokról leszálló utasok áramlása.

A helyszínt kiválasztása során a szerző megvizsgálta a budapesti metróhálózat két legjelentősebb vonalának, a kelet-nyugati M2-es és az észak-déli M3-as metróvonalnak az utasforgalmi adatait. A kelet-nyugati metróvonal vonatkozásában rendelkezésre állt a legutóbbi (2016. október 26-i) teljes utasszámlálás.³⁹ Az észak-déli metróvonal vonatkozásában két utasszámlálás adatai is rendelkezésre álltak, az egyik a teljes vonalra vonatkozó 2014. évi,⁴⁰ a másik egy a felújítás alatt lévő vonalszakasz kihagyá-

³⁷ Restás Ágoston: Tűzoltók szemtől szemben az érintettekkel: Viselkedésformák tűz- és káreseteknél. *Bolyai Szemle*, 13. (2014), 3. 25–35.

³⁸ Restás Ágoston: Pszichológia a tűz frontvonalában. *Védelem Tudomány*, 1. (2016), 3. 46–56.

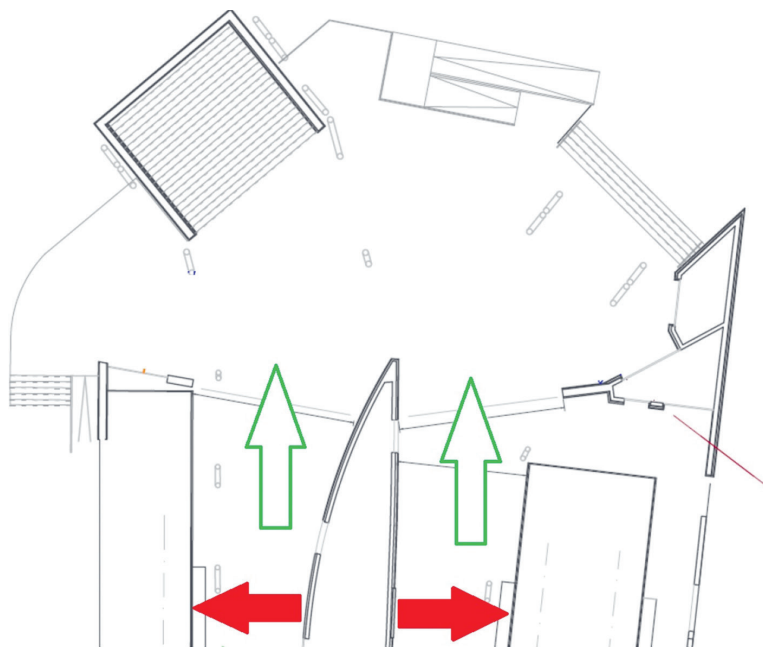
³⁹ Nagy Zoltán – Králik Tibor: *M2-es metró Órs vezér tere – Déli pályaudvar utasszámlálás adatai*. Budapest, Budapesti Közlekedési Központ, 2016.

⁴⁰ Bánfi Tibor – Králik György: *M3-as metró teljes vonal utasszámlálás adatai*. Budapest, Budapesti Közlekedési Központ, 2014.

sával készített 2017. október 3-i részleges utasszámlálás.⁴¹ A táblázatok tartalmazták a negyedórás állomásforgalmi adatokat és a keresztmetszeti utasszámokat is.

Ki kellett választani a méréshez leginkább megfelelő végállomást, ahol sok a leszálló utas. Az utasszámlálási adatokból a szerző megállapította, hogy 2020 szeptemberében a legnagyobb csúcs negyedórás leszálló utasszám a kelet-nyugati M2-es metróvonal Örs vezér tere végállomásán várható, körülbelül 2200 fő/negyedóra a délutáni csúcsforgalomban, 16 és 17 óra között.

A 11. ábra bemutatja az Örs vezér tere metróállomás alaprajzát: a piros nyíl a mérés helyét, a zöld keretes fehér nyilak a leszálló utasok mozgási irányát jelzik a leszállást követően.



2. ábra

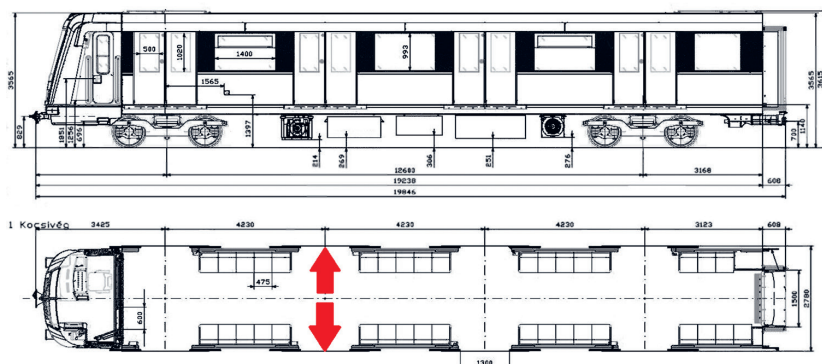
Örs vezér tere metróállomás alaprajzának részlete a mérés helyének és a haladás irányának jelölésével

Forrás: Lukács József: *Állomási beléptető kapuk elhelyezésének vizsgálata budapesti metróhálózaton*. Budapest, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2014. 67.

A méréshez ki kellett jelölni egy ajtót, ahol a megfigyelés és mérés megtörténhet. Az első ajtó nem reprezentálja megfelelően az átlagos kijáratokat, mivel a metrókocsik kialakítása miatt a járművön belüli peron mellettük aszimmetrikus. A méréshez ezért az állomási kijáratához legközelebbi, de a járművön belül szimmetrikus utasáramlást lehetővé tevő második ajtót választotta ki a szerző. A méréshez használt Alstom Metropolis AM5-M2 típusú jármű első kocsijának alaprajzát a 12. ábra szemlélteti.

⁴¹ Nagy Zoltán – István György: *M3-as metró teljes vonal utasszámlálás adatai*. Budapest, Budapesti Közlekedési Központ, 2017.

Az Örs vezér tere metróállomáson a szerző korábbi megfigyelései szerint jellemző, hogy az utasok nem egyenletesen oszlanak el a járműben, hanem a járműnek azon része felé nő az utasok létszámsűrűsége, amely rész az állomási kijáráshoz legközelebb esik.



3. ábra

Alstom Metropolis AM5-M2 típusú metrókocsi, a méréshez figyelembe vett ajtók jelölésével

Forrás: http://vigimodell.hu/kep/jelleg/wgc_media/photos/Alstom.jpg

A jármű ajtójának szabad szélességét a szerző lemérte, a méréshez fém mérőszalagot használt. A mérések alapján a kiválasztott jármű figyelembe vett ajtójának szabad szélessége 1300 mm.

Az első (meleg évszaki) mérés 2020. szeptember 8-án 16 óra 10 perctől 17 óra 00 percig tartott. Ez idő alatt véletlenszerűen kiválasztott 11 érkező szerelvény kiszálló utasainak áramlását mérte a szerző. A mérés időpontjában a léghőmérséklet 24 °C, az égbolt gyengén felhős, a szél gyenge volt.⁴² Mivel az Örs vezér tere metróállomás nyitott, így a peronon is ilyen klimatikus viszonyok voltak. Az utasok zöme könnyű nyári ruházatot viselt, életkoruk körülbelül 5–80 év között volt.

A második (hideg évszaki) mérés 2020. november 25-én 15 óra 45 perctől 17 óra 15 percig tartott. Ez idő alatt véletlenszerűen kiválasztott 30 érkező szerelvény kiszálló utasainak áramlását mérte a szerző. A mérés időpontjában a léghőmérséklet 3 °C, az égbolt borult, a szél gyenge volt.⁴³ Mivel az Örs vezér tere metróállomás nyitott, így a peronon is ilyen klimatikus viszonyok voltak. Az utasok zöme téli ruházatot viselt, életkoruk körülbelül 5–80 év között volt.

Az össznépszerűség átlagos menekülőképességét jól reprezentálja a választott minta, mivel az 5–80 éves korosztály az össznépszerűség 91,3%-át teszi ki.⁴⁴

A szerelvények felváltva érkeztek a jobb és a bal peronra. A mérés úgy történt, hogy az érkezést követő ajtónyitás után a jármű külső síkját először érintő személy áthaladásakor indította az időmérést a szerző. A mérés indításának pillanata a személy által a jármű külső síkjának érintése volt. Az időmérés addig tartott, amíg a járművön belül az ajtó előtt a torlódás megszűnt. Ezen időpontot követően csak

⁴² Időképek alkalmazás adatai szerint.

⁴³ Időképek alkalmazás adatai szerint.

⁴⁴ KSH: Összefoglaló táblák (STADAT) – Idősoros éves adatok – Népszerűség, népmozgalom 1.3. Népszerűség korév és nem szerint, 2020. január 1. Budapest, 2020.

egy-két utas szállt ki a járműből, mivel ekkor már nem volt folyamatos az áramlás, így ennek figyelembevétele nem lett volna mérvadó a szűkítés átbocsátóképességének meghatározásához. Az időmérés közben a kiszálló utasok számát rögzítette a szerző.

Mindkét mérés során az volt megfigyelhető, hogy a gyalogosok nem használtak segédeszközt (például mankó, kerekesszék, járókeret stb.) a közlekedéshez. A segédeszközzel közlekedők esetében csökkenhet az átbocsátóképesség.

A mérés során gyűjtött adatok statisztikai feldolgozása magában foglalta az átlag, a medián, a korrigált empirikus szórás, a középérték közepes hibája, valamint Student-féle t-eloszlással a hibahatár és a konfidenciaintervallum meghatározását is.

A Student-féle t-eloszlást azért alkalmazta a szerző, mert ezzel a statisztikai módszerrel megállapítható, hogy a minta elemszáma figyelembevételével a teljes – önállóan, segédeszköz nélkül menekülni képes – populációra vonatkozó értékek egy meghatározott valószínűséggel (95% vagy 99%) milyen intervallumon belül lesznek. Ilyen módon a minta elemszáma nem torzíja az eredményt, az a figyelembe vett valószínűséggel a meghatározott intervallumon belül marad. A szerző a konfidenciaintervallum alsó határértékét javasolta a kiürítési számítás során figyelembe venni, mivel így a biztonság javára tér el, azaz kijelenthető, hogy az önállóan, segédeszköz nélkül menekülni képes populáció átlagos menekülőképessége által meghatározott átbocsátóképesség 95%, illetve 99% valószínűséggel a meghatározottnál nem kisebb.

3. Az átbocsátóképesség meghatározása

Az első (meleg évszaki) mérés adatait a 2. táblázat tartalmazza. Feltételezzük, hogy az átbocsátóképesség normális eloszlást követ.

2. táblázat
Az első (meleg évszaki) mérés adatai

Forrás: a szerző szerkesztése

Mérés sorszáma	Személyek száma	Ajtó szélessége	Idő	Átbocsátóképesség	Átlag	Medián
		(m)	(s)	(fő/[s·m])		
1.	15	1,3	11,00	1,049	1,337	1,348
2.	15	1,3	9,03	1,278		
3.	21	1,3	10,72	1,507		
4.	21	1,3	11,50	1,405		
5.	15	1,3	7,96	1,450		
6.	23	1,3	12,68	1,395		
7.	20	1,3	11,47	1,341		
8.	24	1,3	16,48	1,120		
9.	17	1,3	8,44	1,549		
10.	20	1,3	11,41	1,348		
11.	23	1,3	13,94	1,269		

A korrigált empirikus szórás az alábbi összefüggés alapján számítható:⁴⁵

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0,1526 \frac{\text{fő}}{\text{s}\cdot\text{m}}$$

A középérték közepes hibája:⁴⁶

$$SEM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \frac{SD}{\sqrt{n}} = 0,04601 \frac{\text{fő}}{\text{s}\cdot\text{m}}$$

Student-féle t-eloszlással vizsgálva a hibahatár 95%-os valószínűséggel:⁴⁷

$$\Delta_{95} = t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{(n-1)} \cdot SEM = t_{0,975}^{(10)} \cdot 0,04601 = 2,23 \cdot 0,04601 = 0,1026 \frac{\text{fő}}{\text{s}\cdot\text{m}}$$

Az átbocsátóképesség várható értékének $p = 95\%$ -os megbízhatóságú konfidencia-intervalluma:

$$\mu(95) \in [\bar{x} - \Delta_{95}; \bar{x} + \Delta_{95}] = [1,337 - 0,1026; 1,337 + 0,1026] = [1,2344; 1,4396]$$

A hibahatár, valamint a várható érték konfidenciaintervallumának meghatározása $p = 99\%$ -os megbízhatósággal:

$$\Delta_{99} = t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{(n-1)} \cdot SEM = t_{0,995}^{(10)} \cdot 0,04601 = 3,17 \cdot 0,04601 = 0,1459 \frac{\text{fő}}{\text{s}\cdot\text{m}}$$

$$\mu(99) \in [\bar{x} - \Delta_{99}; \bar{x} + \Delta_{99}] = [1,337 - 0,1459; 1,337 + 0,1459] = [1,1911; 1,4829]$$

A fentiekből látszik, hogy a mérés szerint a populáció átlagos menekülőképessége alapján az ajtók átbocsátóképessége 95%-os, illetve 99%-os megbízhatósággal az alábbi konfidenciaintervallum szerint alakul:

$$\mu(95) = \bar{x} \pm \Delta_{95} = 1,337 \pm 0,1026 \frac{\text{fő}}{\text{s}\cdot\text{m}} = 80,22 \pm 6,156 \frac{\text{fő}}{\text{min}\cdot\text{m}}$$

$$\mu(99) = \bar{x} \pm \Delta_{99} = 1,337 \pm 0,1459 \frac{\text{fő}}{\text{s}\cdot\text{m}} = 80,22 \pm 8,754 \frac{\text{fő}}{\text{min}\cdot\text{m}}$$

A téli ruházat átbocsátóképességet befolyásoló hatását vizsgálta a szerző a második (hideg évszaki) mérés alkalmával, amelynek adatait a 3. táblázat tartalmazza.

⁴⁵ Nagy Péter: Leíró statisztika: a populáció és a minta jellemzése. In Fidy Judit – Makara Gábor (szerk.): *Biostatisztika*. Budapest, Informed 2002 Kft., 2005. 22.

⁴⁶ Nagy (2005): i. m. 22.

⁴⁷ Kenyeres Erika: Statisztikai becslések. In Kenyeres Éva et alii (szerk.): *Általános statisztika II*. Budapest, Nemzeti Tankönyvkiadó, 1997. 36.

3. táblázat
A második (hideg évszaki) mérés adatai
 Forrás: a szerző szerkesztése

Mérés sorszáma	Személyek száma	Ajtó szélessége	Idő	Átbocsátás	Átlag	Medián
		(m)	(s)	(fő/[s·m])		
1.	13	1,3	8,49	1,178	1,232	1,255
2.	12	1,3	8,57	1,077		
3.	13	1,3	8,44	1,185		
4.	10	1,3	7,23	1,064		
5.	10	1,3	5,73	1,342		
6.	14	1,3	8,63	1,248		
7.	12	1,3	7,38	1,251		
8.	15	1,3	10,34	1,116		
9.	11	1,3	7,27	1,164		
10.	12	1,3	7,25	1,273		
11.	13	1,3	7,12	1,404		
12.	17	1,3	10,38	1,260		
13.	12	1,3	7,9	1,168		
14.	18	1,3	10,51	1,317		
15.	17	1,3	9,84	1,329		
16.	21	1,3	15,64	1,033		
17.	19	1,3	11,81	1,238		
18.	12	1,3	6,98	1,322		
19.	20	1,3	11,45	1,344		
20.	18	1,3	11,36	1,219		
21.	21	1,3	12,53	1,289		
22.	13	1,3	7,49	1,335		
23.	18	1,3	10,13	1,367		
24.	15	1,3	10,96	1,053		
25.	22	1,3	13,2	1,282		
26.	9	1,3	5,33	1,299		
27.	17	1,3	11,47	1,140		
28.	12	1,3	9,32	0,990		
29.	21	1,3	12,07	1,338		
30.	11	1,3	6,29	1,345		

A korrigált empirikus szórás az alábbi összefüggés alapján számítható:⁴⁸

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} = 0,1120 \frac{\text{fő}}{\text{s} \cdot \text{m}}$$

⁴⁸ Nagy (2005): i. m. 22.

A középérték közepes hibája:⁴⁹

$$SEM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \frac{SD}{\sqrt{n}} = 0,02045 \frac{\text{fő}}{\text{s}\cdot\text{m}}$$

Student-féle t-eloszlással vizsgálva a hibahatár 95%-os valószínűséggel:⁵⁰

$$\Delta_{95} = t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{(n-1)} \cdot SEM = t_{0,975}^{(29)} \cdot 0,02045 = 2,045 \cdot 0,02045 = 0,04182 \frac{\text{fő}}{\text{s}\cdot\text{m}}$$

Az átbocsátóképesség várható értékének $p = 95\%$ -os megbízhatóságú konfidencia-intervalluma:

$$\mu(95) \in [\bar{x} - \Delta_{95}; \bar{x} + \Delta_{95}] = [1,232 - 0,04182; 1,232 + 0,04182] = [1,1902; 1,2738]$$

A hibahatár, valamint a várható érték konfidenciaintervallumának meghatározása $p = 99\%$ -os megbízhatósággal:

$$\Delta_{99} = t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{(n-1)} \cdot SEM = t_{0,995}^{(29)} \cdot 0,02045 = 2,756 \cdot 0,02045 = 0,05636 \frac{\text{fő}}{\text{s}\cdot\text{m}}$$

$$\mu(99) \in [\bar{x} - \Delta_{99}; \bar{x} + \Delta_{99}] = [1,232 - 0,05636; 1,232 + 0,05636] = [1,1756; 1,2884]$$

A fentiekből látszik, hogy a mérés szerint a populáció átlagos menekülőképessége alapján az ajtók átbocsátóképessége 95%-os, illetve 99%-os megbízhatósággal az alábbi konfidenciaintervallum szerint alakul a hideg évszaki ruházatot figyelembe véve:

$$\begin{aligned} \mu(95) &= \bar{x} \pm \Delta_{95} = 1,232 \pm 0,04182 \frac{\text{fő}}{\text{s}\cdot\text{m}} = 73,92 \pm 2,509 \frac{\text{fő}}{\text{min}\cdot\text{m}} \\ \mu(99) &= \bar{x} \pm \Delta_{99} = 1,232 \pm 0,05636 \frac{\text{fő}}{\text{s}\cdot\text{m}} = 73,92 \pm 3,382 \frac{\text{fő}}{\text{min}\cdot\text{m}} \end{aligned}$$

A mérések alapján igazolható, hogy téli ruházatban csökken a szűkítések átlagos átbocsátóképessége.

A hideg évszaki klimatikus viszonyok közötti mérési értékekből azt a következtetést vonhatjuk le, hogy az $n = 30$ elemszám mellett kellően pontos adatokat kaphatunk a populáció átlagos menekülőképességére vonatkozóan. Az értéket a gyakorlatban elegendő az optimálisan 95%-os megbízhatósággal megállapítani Student-féle t-eloszlással, így $73,92 \pm 3,4\%$ fő/(min·m) érték adódik a szűkítések átbocsátóképességére, amely több mint másfélszerese a jelenleg alkalmazott 41,7 fő/(min·m) értéknek.

A szerző által meghatározott érték beleillik a szakirodalomban fellelhető értékek sorába, amelyet a 4. táblázat mutat be.

⁴⁹ Nagy (2005): i. m. 22.

⁵⁰ Kenyeres (1997): i. m. 36.

4. táblázat

Az átbocsátóképesség átlagának összehasonlítása jelen mérés eredményével

Forrás: a szerző szerkesztése

Adat forrása	Az átbocsátóképesség átlaga (fő/[m·s])
P. Thompson et alii (2015)	0,850
S. M. V. Gwynne et alii (2009)	0,920
<i>G. Herczeg hideg évszakban (2020)</i>	1,232
P. J. DiNenno et alii (2012)	1,300
<i>G. Herczeg meleg évszakban (2020)</i>	1,337
A. Seyfried et alii (2009)	1,610
A. Nicolas – S. Bouzat – M. N. Kuperman (2017)	1,710
T. Kretz et alii (2006)	1,740
K. Fuji – T. Sano (2014)	1,760
R. Fernández – A. Valencia – S. Seriani (2015)	1,942
A. Poulos et alii (2018)	2,345
J. M. Pastor et alii (2015)	2,530
M. Haghani – M. Sarvi (2019)	2,800
X. Shi et alii (2019)	2,925
S. Huang et alii (2018)	3,395
A. Garcimartín et alii (2016)	3,700

A szerző által meghatározott értéket az elmúlt 15 évből származó mérések publikált adataival összevetve megállapítható, hogy a szerző által meghatározott érték az értékek növekvő sorában az alsó harmad határán helyezkedik el.

A különböző forrásokban fellelhető értékek legtöbbje kísérleten alapul. A kísérletek összehasonlítása csak azonos körülmények esetén lehetséges, és a fellelt források ugyan több esetben tartalmazzák a kísérlet körülményeinek részletes leírását (például személyek életkori megoszlása, ruházat, minta nagysága stb.), azonban vannak olyan kísérletek, ahol a publikációk szerzői nem tesznek említést az előbb felsorolt tényezőkről annak ellenére, hogy azok befolyásolhatták a kísérletek eredményeit.

Az átbocsátóképesség szakirodalomban fellelt értékeit a szerző ennek ellenére azért szerepelteti, mivel az előzőekben felsorolt fenntartásokkal ugyan, de alkalmasak az összevetésre a szerző által végrehajtott mérés eredményével és az átbocsátóképesség Magyarországon alkalmazott értékével. Az összevetés során, a kísérletek körülményeire vonatkozó adatok ismeretének hiányában is megállapítható, hogy az átbocsátóképesség kiürítési számítás során Magyarországon alkalmazott értéke minden más szerző értékénél alacsonyabb, akár gyermekekkel, akár felnőttekkel végezték a méréseket.

4. Összefoglalás

Az épületekből való menekülés feltételeinek biztosítása az életvédelmi célok teljesítésének egyik eszköze. A jogszabályi követelmények teljesítése ellenőrzésének egyik elfogadott módszere a kiürítési számítás. E számítás része a szűkítések

átbocsátóképességének figyelembevételével annak megállapítása, hogy a szűkítések lehetővé teszik-e a biztonságos menekülést. A kiürítési számítás során a szűkítések átbecsátóképességére Magyarország alkalmazott érték 41,7 fő/(min·m).

A szerző elemezte a cikkben a nemzetközi szakirodalmi adatokat, amelyek a szűkítésen keresztüli gyalogosáramlásra, azon belül a szűkítések átbecsátóképességére vonatkoztak. A fellelt értékeket táblázatban foglalta össze a kiürítésre vonatkozó egyik első publikációtól (1938) egészen a legfrissebb kutatási eredményeket tartalmazó 2019. évi cikkekig. A fellelt adatok között volt forrás, amely konstansnak írta le az átbecsátóképességet, míg más források lineáris vagy négyzetes összefüggést találtak a gyalogosáram erőssége és a szűkítés szélessége között. Ezen egyenleteket grafikusán ábrázolta a szerző. Nem volt a szerző célja a gyalogosáramlás erőssége és a szűkítés szélessége közötti összefüggés konstans, lineáris vagy négyzetes feltárása vagy cáfolása. A cél az volt, hogy egy átlagos átbecsátóképesség-értéket határozzon meg, amely könnyen beilleszthető a jelenlegi kiürítési számítási módszerbe, és az össznépszerűség átlagos menekülőképességét jól reprezentálja.

A jelenleg alkalmazott átbecsátóképesség-érték publikációjában 1938-ban nem ismertették, hogy az értéket milyen életkori eloszlású utasokon mérték, ezen utasok közül használtak-e a gyalogos közlekedéshez segédeszközöket és azt sem, hogy milyen ruházatot viseltek.

A szerző által megállapított átbecsátóképesség értéke a metróval utazó magyar populáció átlagos tulajdonságain alapul. Az életkor, és még inkább a mozgásukban korlátozottak, akik nagyobb számban használnak a gyalogos közlekedéshez segédeszközt, befolyásolhatják a menekülőképességet, és ezáltal a szűkítések átbecsátóképességét. A szerző által megállapított érték a jelenleg alkalmazotthoz hasonlóan egységesítésre alkalmas átlagérték, amely az össznépszerűség átlagos menekülőképességén alapul. Az épületben tartózkodók biztonságát az átbecsátóképességen kívül a bejárat útvonal hossza, a haladási sebesség, az épület tűzvédelmi jellemzői (például tűzszakasz mérete, tűzjelző berendezés stb.) szintén befolyásolják.

Ebben a cikkben megállapította a szerző az épületekből való menekülés során bejárat útvonalon elhelyezkedő szűkítések átbecsátóképességét. Ezen értéket a populáció átlagos menekülőképességének figyelembevételével, járművekből kiszálló utasok megfigyelésével és áramlásukra jellemző mennyiségek mérésével állapította meg egy $n = 11$ és egy $n = 30$ elemszámú mintán. A mintavételt a budapesti metróhálózat egyik végállomásán végezte, mivel megállapította, hogy végállomáson lehet az egyirányú gyalogosáramlást megnyugtató pontossággal vizsgálni. Az állomás kiválasztásához a szerző elemezte a budapesti metróhálózatok legfrissebb utasszámlálási adatait. A szerző kidolgozta a mérés módszertanát, valamint meghatározta a mérés gyakorlati végrehajtásához szükséges feltételeket. A mérést a szerző egyedül végezte, a mérési helyszínről rajzot mutatott be, valamint ábrán jelölte a metrókocsi méréshez figyelembe vett ajtajait. A mérés során megfigyelte és rögzítette a klimatikus viszonyokat, valamint a gyalogosok ruházatát.

A mérés eredményét a szerző statisztikai módszerekkel elemezte, megállapította 95%-os és 99%-os megbízhatósággal a szűkítések átbecsátóképességének mértékét, valamint az átlagértéket összehasonlította más szerzők által meghatározottakkal.

A szerző javasolja a szűkítések átbocsátóképességének kiürítési számítás során figyelembe vehető értékét a 95%-os megbízhatóságú konfidenciaintervallum alsó határa szerint (kerekítve) 71,4 fő/(min·m) értékben megállapítani. Ehhez a kiürítésről szóló tűzvédelmi műszaki irányelv módosítása szükséges.

Az ebben a cikkben közölt érték konfidenciaintervalluma tovább pontosítható a minta elemszámának növelésével.

A mérés eredményének más szerzők eredményeivel történő összehasonlítása után megállapítható, hogy jelentős a szórás az egyes szerzők értékei között. Az általánosan alkalmazott átbocsátóképesség értéke lehet, hogy csak a kezdet, és további elemzéssel, vizsgálattal és kutatással jobban megismerhető lesz a szűkítéseken keresztüli gyalogosáramlás.

Felhasznált irodalom

- Bánfi Tibor – Králik György: *M3-as metró teljes vonal utasszámlálás adatai*. Budapest, Budapesti Közlekedési Központ, 2014.
- Beljajev, Sz. V.: *Evakuacija zdanyij masszovovo naznacsenyija*. Moszkva, Izdatyelsztvo Vseszozjuznoj Akagyemii Arhityekturi, 1938.
- DiNenno, Philip J. – Dougal Drysdale – Craig L. Beyler – W. Douglas Walton – Richard L. P. Custer – John R. Hall, Jr. – John M. Watts, Jr.: *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Quincy, National Fire Protection Association, 2012.
- Fernández, Rodrigo – Alejandra Valencia – Sebastian Seriani: On passenger saturation flow in public transport doors. *Transportation Research Part A*, 78. (2015), 102–112. Online: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.05.001>
- Fujii, Kosuke – Tomonori Sano: Experimental study on crowd flow passing through ticket gates in railway stations. *Transportation Research Procedia*, 2. (2014), 630–635. Online: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.09.105>
- Garcimartín, Angel – D. R. Parisi – J. M. Pastor et alii: Flow of pedestrians through narrow doors with different competitiveness. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, IOP Publishing, (2016), 4. 043402. Online: <https://doi.org/10.1088/1742-5468/2016/04/043402>
- Gwynne, S. M. V. – E. D. Kuligowski – J. Kratchman – J. A. Milke: Questioning the linear relationship between doorway width and achievable flow rate. *Fire Safety Journal*, (2009), 44. 80–87. Online: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2008.03.010>
- Haghani, Milad – Majid Sarvi: Simulating pedestrian flow through narrow exits. *Physics Letters A*, 383. (2019), 2–3. 110–120. Online: <https://doi.org/10.1016/j.physleta.2018.10.029>
- Herczeg Gergely – Bérczi László: Közösségi rendeltetésű épületek kiürítési gyakorlatainak tapasztalatai. *Védelem Tudomány*, 4. (2019), 2. 84–103.
- Huang, Shenshi Shouxian Lua – Siuming Lo – Changhai Li – Yafei Guo: Experimental study on occupant evacuation in narrow seat aisle. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, (2018), 502. 506–517. Online: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2018.02.032>

- Kenyeres Erika: Statisztikai becslések. In Kenyeres Éva et alii (szerk.): *Általános statisztika II.* Budapest, Nemzeti Tankönykiadó, 1997. 36.
- Kretz, Tobias – Anna Grünebohm – Michael Schreckenberg: Experimental study of pedestrian flow through a bottleneck. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, (2006), 10. 10014. Online: <https://doi.org/10.1088/1742-5468/2006/10/P10014>
- KSH: Összefoglaló táblák (STADAT) – Idősoros éves adatok – Népeség, népmozgalom 1.3. Népeség korév és nem szerint, 2020. január 1. Budapest, 2020. www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_wdsd009.html
- Li, Hongliu – Jun Zhang – Libing Yang – Weiguo Song – Kwok Kit Richard Yuen: A comparative study on the bottleneck flow between preschool children and adults under different movement motivations. *Safety Science*, 121. (2020), 30–41. Online: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.09.002>
- Lukács József: *Állomási beléptető kapuk elhelyezésének vizsgálata budapesti metróhálózaton.* Budapest, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2014.
- Nagy Péter: Leíró statisztika: a populáció és a minta jellemzése. In Fidy Judit – Makara Gábor (szerk.): *Biostatisztika.* Budapest, Informed 2002 Kft., 2005. 22.
- Nagy Zoltán – István György: *M3-as metró teljes vonal utasszámlálás adatai.* Budapest, Budapesti Közlekedési Központ, 2017.
- Nagy Zoltán – Králik Tibor: *M2-es metró Örs vezér tere – Déli pályaudvar utasszámlálás adatai.* Budapest, Budapesti Közlekedési Központ, 2016.
- NFPA 130: *Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems.* 5.3.7.1. 2017. Online: www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=130
- Nicolas, Alexandre – Sebastián Bouzat – Marcelo N. Kuperman: Pedestrian flows through a narrow doorway: Effect of individual behaviours on the global flow and microscopic dynamics. *Transportation Research Part B: Methodological*, 99. (2017), 30–43. Online: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2017.01.008>
- Pastor, José M. – Angel Garcimartín – Paula A. Gago et alii: Experimental proof of faster-is-slower in systems of frictional particles flowing through constrictions. *Physical Review E*, 92. (2015), 6. 062817. Online: <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.92.062817>
- Poulos, Alan – Felipe Tocornal – Juan Carlos de la Llera – Judith Mitrani-Reiser: Validation of an agent-based building evacuation model with a school drill. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 97. (2018), 82–95. Online: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.10.010>
- Predtechenskii V.– A. I. Milinskii: *Planning for foot traffic flow in buildings.* Washington DC, National Bureau of Standards, US Department of Commerce, and the National Science Foundation, 1978.
- Restás Ágoston: Pszichológia a tűz frontvonalában. *Védelem Tudomány*, 1. (2016), 3. 46–56.
- Restás Ágoston: Tűzoltók szemtől szemben az érintettekkel: Viselkedésformák tűz- és káreseteknél. *Bolyai Szemle*, 13. (2014), 3. 25–35.

- Seyfried, Armin – Bernhard Steffen – Andreas Winkens et alii: Empirical data for pedestrian flow through bottlenecks. In Cécile Appert-Rolland – François Chevoir – Philippe Gondret – Sylvain Lassarre – Jean-Patrick Lebacque – Michael Schreckenberg (szerk.): *Traffic and Granular Flow'07*, 2009. 189–199. Online: https://doi.org/10.1007/978-3-540-77074-9_17
- Shi, Xiaomeng – Zhirui Ye – Nirajan Shiwakoti et alii: Examining effect of architectural adjustment on pedestrian crowd flow at bottleneck. *Physica A*, 522. (2019), 350–364. Online: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.01.086>
- Thompson, Peter – Daniel Nilsson – Karen Boyce – Denise McGrath: Evacuation models are running out of time. *Fire Safety Journal*, 78. (2015), 251–261. Online: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2015.09.004>
- Belügyminisztérium Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság: *Tűzvédelmi Műszaki Irányelv – Kiürités*. TvMI 2.3:2020.01.22.
- Wang, Shuai – Hao Yue – Binya Zhang – Juan Li: Setting the Width of Emergency Exit in Pedestrian Walking Facilities. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 138. (2014), 233–240. Online: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.07.200>
- Zhang, Teng – Xuelin Zhang – Shenshi Huang et alii: Collective behavior of mice passing through an exit under panic. *Physica A*. 496. (2018), 233–242. Online: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.12.055>

Jogi forrás

54/2014. (XII. 5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról

Internetes forrás

http://vigimodell.hu/kep/jelleg/wgc_media/photos/Alstom.jpg